

a simulé l'évolution de 1975 à 1997. Un levé de 1997 et celui de 1975 effectué lors des études du Laboratoire central d'hydraulique de France ont vérifié la validité de la modélisation en s'assurant que les résultats du modèle correspondaient à l'évolution connue. Le modèle a ensuite simulé l'évolution prévisible dans un délai de 45 ans à partir de la situation de 1997, d'abord en l'absence de nouveaux travaux, puis sous l'effet de divers aménagements, afin de choisir les plus adaptés.

À la suite de ces études, un programme général d'aménagement a pu être proposé à la fin de 1999. Ce programme comprend une opération demandée depuis les années 1880 : la suppression partielle de la digue-route d'accès au Mont. La digue sera remplacée sur plus de 500 mètres par un pont-passerelle dont les piles n'offriront qu'une faible résistance aux courants.

La pièce maîtresse de ce programme consiste cependant en l'utilisation nouvelle du Couesnon, grâce à la construction d'un nouveau barrage remplaçant celui de La Caserne, construit en 1969. Le Couesnon, qui draine un bassin-versant d'environ 1 100 kilomètres carrés, a un débit moyen annuel de dix mètres cubes par seconde. Les débits de crue qui seuls sont efficaces pour entraîner les sédiments de la baie, sont trop peu fréquents pour dégager les abords du Mont : cinq pour cent des débits journaliers dépassent 50 mètres cubes par seconde et seulement un pour cent sont de l'ordre de 100 mètres cubes par seconde. Dans ces conditions, il faut accroître les débits de jusan du Couesnon pour créer des chasses efficaces.

Fonctionnement du barrage et chasse des sédiments

Pour ce faire, le nouveau barrage, d'une largeur hydraulique de 80 mètres contre les 36 mètres de l'ancien barrage de La Caserne, doit permettre l'entrée d'eau de mer à marée haute, lors des marées de coefficient égal ou supérieur à 75, qui représentent 42 pour cent des marées. Afin de limiter l'entrée des sédiments marins dans le Couesnon, il est prévu d'effectuer le remplissage par surverse, c'est-à-dire par un écoulement au-dessus des vannes, quelque temps après l'arrivée du premier flot. Afin d'accroître les chasses d'eaux, le curage du Couesnon sur quatre kilomètres et le creusement sur 21 hectares d'un ancien lobe de méandre du

Couesnon, l'anse de Moidrey, augmenteront considérablement le volume d'eau disponible pour les chasses. Celui-ci pourrait ainsi atteindre exceptionnellement 1 700 000 mètres cubes.

Ces eaux ainsi emmagasinées seront libérées six heures environ après la pleine mer. Elles s'écouleront pendant environ une heure par sous-verse, c'est-à-dire par un écoulement au-dessous des vannes, afin d'effectuer une chasse puissante, comparable à une crue d'automne, selon deux chenaux principaux de chaque côté d'un seuil de partage couvert par la plupart des pleines mers. Les deux chenaux passeront de part et d'autre du Mont. Le plus important, le chenal occidental, recevra 70 pour cent du débit de chasse, alors que le chenal oriental ne recevra que 30 pour cent du débit et passera sous le nouveau pont. Une série d'épis sont prévus à l'Ouest du bras occidental afin d'éviter des divagations périlleuses pour les polders, ainsi que des épis déflecteurs le long du seuil et des épis écarteurs flanquant le Mont lui-même. L'ensemble redonnera au Mont son caractère insulaire et interdira aux prés salés de l'atteindre.

Le remplacement de la digue-route par un pont-passerelle rétablira le caractère insulaire du Mont-Saint-Michel, tout en en gardant l'accès continu et permanent. La maîtrise du régime du Couesnon, dont les eaux se diviseront artificiellement à l'aval du barrage en deux chenaux, garantira la pérennité de cette insularité en maintenant des écoulements de part et d'autre du Mont et en empêchant ainsi la progression des prés salés jusqu'aux remparts. Ce projet est focalisé sur le Mont lui-même et sur ses abords immédiats. Il n'a ainsi pas retenu le rétablissement des anciens cours de la Guintre et du Ruisseau-Landais, un moment envisagé. En effet, si cette opération, dont le coût n'était pas négligeable, aurait restitué un paysage plus naturel dans les prés salés de l'Est, elle n'aurait guère eu d'efficacité pour le maintien de l'insularité du Mont.

Le projet actuel ne s'inscrit pas dans le mouvement général de retour à la mer des étendues estuariennes, retour que l'on constate en Allemagne, aux Pays-Bas, en Grande-Bretagne ou aux États-Unis notamment. Si l'on fait entrer des eaux salées dans le Couesnon, c'est essentiellement pour obtenir un certain volume de chasse, et non pour recréer des milieux humides sau-

mâtres, les collectivités intéressées ne souhaitant pas un tel retour, qui compromettrait les équilibres existants.

Le programme actuel, dont l'achèvement est prévu pour 2006 et dont le coût est estimé à près de 100 millions d'euros, est commandé par la volonté de conserver le caractère insulaire d'un site du patrimoine mondial, caractère que toutes les actions humaines antérieures menaçaient en favorisant le colmatage naturel. Le programme se propose aussi d'éviter la dégradation du site, notamment celle des grèves, que l'extension du stationnement oblitérait gravement.

Un tel patrimoine – à la fois culturel et naturel – attire déjà plus de trois millions de visiteurs chaque année. L'amélioration des moyens d'accès comme l'autoroute des estuaires qui doit passer à Pontaubault, à une douzaine de kilomètres du Mont-Saint-Michel, la construction éventuelle d'une voie ferrée de desserte, le développement contemporain du tourisme lié au patrimoine augmenteront la fréquentation du site, que la publicité qui entourera l'exécution des travaux ne pourra que favoriser.

Ainsi, si le deuxième millénaire s'est achevé sur l'action toujours plus efficace des sociétés en faveur de la terre, le troisième débute par une entreprise destinée à rétablir l'insularité du Mont-Saint-Michel tout en conservant l'accessibilité du site et à maintenir un caractère maritime à des étendues que l'évolution naturelle tendait à annexer à la terre.

Fernand VERGER est professeur émérite de géographie à l'École normale supérieure et président de la Commission scientifique de la Mission Mont-Saint-Michel.

Marie-Thérèse MORZADEC-KERFOURN, *Variations de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire*, Mémoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, tome XVII, 1974.

Virginie BOUCHARD et al., *Progression des marais salés à l'ouest du Mont-Saint-Michel entre 1984 et 1994*, Mappemonde, n° 4, pp. 28-34, 1995.

Jean-François SEGUIN, *Mont-Saint-Michel. La reconquête d'un site*, Le Cherche-Midi, Paris, 1998.

Mission Mont-Saint-Michel, *Rétablir le caractère maritime du Mont-Saint-Michel : les solutions proposées*, Programme technique détaillé, chap. IV, avril 1999.

Les anticoagulants de synthèse

MAURICE PETITOU • JEAN-MARC HERBERT

Les médicaments anticoagulants sont essentiels pour combattre la maladie thromboembolique veineuse. Se fondant sur l'analyse d'anticoagulants naturels, les chimistes ont synthétisé de nouveaux médicaments.

Le désordre le plus fréquent du système circulatoire est la maladie thromboembolique veineuse : elle se manifeste initialement par une phlébite localisée dans les veines profondes des jambes, puis se complique parfois par une occlusion des vaisseaux sanguins, ou thrombose, qui évolue, dans un à deux pour cent des cas, vers une embolie pulmonaire fatale. En outre, chez un tiers de malades, il en résulte un syndrome post-thrombotique, souvent très handicapant. Un individu sur 1 000 est atteint dans les pays industrialisés, et la maladie grève lourdement les ressources du système de santé.

La cause ? Une coagulabilité excessive du sang. Normalement, celui-ci est maintenu dans un état de fluidité optimale grâce au « système de la coagulation », un ensemble de réactions biochimiques où des enzymes (la thrombine et d'autres « facteurs ») produites à partir de précurseurs inactifs (la prothrombine et divers autres facteurs) s'activent en cascade. Ces réactions aboutissent à la modification d'une protéine du plasma, le fibrinogène, qui est transformé en fibrine, élément essentiel du caillot sanguin. Normalement le système de la coagulation est finement réglé par d'autres protéines, parmi lesquelles l'antithrombine ; la régulation limite à la fois les hémorragies et la coagulation.

La coagulation du sang étant la cause de la thrombose, les médecins ont naturellement utilisé des composés anticoagulants comme antithrombotiques. On inhibe la coagulation du sang de deux façons.

La première consiste à réduire la concentration du sang en facteurs de coagulation, en limitant l'action de la vitamine K, qui assure leur biosynthèse : les médicaments utilisés sont les antivitamines K.

Ces produits sont administrés par voie orale, mais ils agissent très longtemps, de sorte que les médecins évitent difficilement les surdosages qui provoqueraient des hémorragies : tout au long du traitement, c'est-à-dire parfois à vie, les médecins adaptent les doses de chaque patient et suivent minutieusement (par des dosages sanguins réguliers) l'efficacité anticoagulante et le risque hémorragique. De surcroît, l'utilisation des antivitamines K est parfois compliquée par de nombreuses interactions médicamenteuses et alimentaires.

La seconde façon de réduire la coagulation consiste à bloquer les facteurs de la coagulation. Soit un inhibiteur direct se fixe sur le site actif d'une enzyme et inhibe cette dernière, soit un inhibiteur indirect active l'inhibiteur normal de la coagulation : l'antithrombine.

L'hirudine est le seul inhibiteur direct de la thrombine qui soit utilisé aujourd'hui : la molécule est une petite protéine (un enchaînement de 65 acides aminés) qui fut initialement extraite des glandes salivaires de la sangsue et qui est aujourd'hui produite par génie génétique. En raison de sa nature chimique, cette molécule est seulement administrable par injection. Divers laboratoires pharmaceutiques explorent d'autres inhibiteurs directs, inspirés de pep-

tides (des enchaînements d'acides aminés encore plus courts) présents dans l'estomac des moustiques ou des tiques, ou dans la salive des chauves-souris.

Nous nous sommes davantage intéressés aux inhibiteurs indirects, qui, nous l'avons vu, sont ainsi nommés parce qu'ils agissent par l'intermédiaire de l'antithrombine. Présente dans le sang en concentration relativement élevée, l'antithrombine a la propriété remarquable d'être activable par une déformation : elle limite alors la coagulation. Dans l'organisme, ce « changement de conformation » est provoqué par des molécules de la famille des glucides nommées héparane sulfate, présentes à la surface des vaisseaux sanguins (voir la figure 6).

Les inhibiteurs indirects de la classe des héparines activent l'antithrombine à la manière de l'héparane sulfate. Ils ont été introduits vers la fin des années 1930, bien avant que l'on élucide le mécanisme de leur action anticoagulante (ce travail eut lieu seulement au cours des années 1970).

Des molécules perfectibles

Initialement extraites des poumons de bovins et aujourd'hui récupérées à partir d'intestins de porc, les héparines ont un effet immédiat ou à très court terme, ce qui évite les surdosages. En revanche, leur emploi fait courir un risque de thrombopénie (chute du nombre de plaquettes sanguines circulantes), un effet secondaire plus difficilement acceptable que le faible